環境因子對玉米種子調製效能影響之研究

廖伯基[1]、洪建民[2]、黃玉梅[3]

行政院農業委員會種苗改良繁殖場

摘　要

本研究調查及記錄玉米種子調製過程不同大氣環境條件下與乾燥倉溫濕度，種子水分變化與油耗量之數據，期能依環境之不同，提供最適乾燥方式予現場操作人員判斷，以達到縮短乾燥時間、最高能源利用效率和最佳調製品質。調查結果顯示，種穗乾燥倉的相對濕度，於乾燥初期因表面水分快速蒸發而提高，後即快速降低，且於第 3–9，27–33，51–57 小時 (每日早上九時至下午三時) 具最大降幅，乾燥期間日溫度及相對溼度範圍在 12.1℃–20.7℃及 59–94%時，種穗水分含量由 30.7%降至 17.8%需 72 小時，油耗量 1,090 公升。日溫度及相對溼度範圍在 7.5–16.5℃及 58–96%時，種穗水份含量由 30.5%降至 18%需 75.4 小時，油耗量為 1,127 公升。顯示環境因子對種穗調製所需乾燥時間與油耗量具顯著影響，藉由選擇適當乾燥之環境可顯著提升種穗調製之效能。

關鍵詞：種子調製、玉米、種子倉儲、採種。

前　言

國內飼料作物硬質玉米自給率雖僅 0.5%，但因受全球氣候變遷，飼料成本亦隨之波動，故硬質玉米之育種、良種繁殖及推廣種植為政府重要之政策性籌供任務，而種苗改良繁殖場已建置玉米種穗乾燥倉共 17 倉，種粒乾燥倉共 16 倉並參與良種繁殖三級制度中之田間檢查、種子調製及 ISTA 驗證，其中良種雜交一代之飼料玉米採種與調製作業之相關操作流程已於民國七 0 年代建置完成，該作物之成熟度可概分為乳熟期、黃熟期、完熟期及枯熟期，通常以授粉後第 25、40、50 及 65 天進行判斷 (陳，1972) ；陳氏 (1974) 指出硬質玉米於乳熟期即具發芽能力，然於此時進行乾燥將致發芽率驟降，可能與種子中糖分轉化不全有關；但隨著玉米成熟度提升，採收時水分含量降低，至枯熟期可獲得品質最佳之種子 (陳，1972) ；然因氣候及田間條件之不同，欲使種子含水量降至 30%以下甚為困難，且易因產量問題受契作農戶反對，故多於種子含水量降至 35%時進行採收 (王，1968；馮，1983；蕭，1986)，而玉米種子含水量在 26%時，脫粒之損傷可降至容許程度，但種用玉米最好在 20%以下 (Barrough, 1953) ；又根據 Aldrich 氏等 (1975) 指出，種子含水量 30%，溫度 15℃時種子之安全貯藏期僅 6–7 天，隨種子含水量降低，可大幅提高保存時間，故傳統上採後需即行乾燥處理，而乾燥方式隨季節、地區及最終用途而異；一般可分為自然通風、常溫強制通風與熱風乾燥，台灣氣候多雨潮濕，熱風乾燥為最穩定、省工之方式；但過分提高玉米穀體溫度，不但容易增加破損粒、胴裂粒與變色粒，且易降低澱粉分離性、油脂回復性及蛋白質品質，故熱風溫度依玉米之最終用途而定，飼料用可達 82℃，商用為 54.5℃，種子用最高溫不可超過 43.3℃ (邱及方，1996)，因此台灣種用玉米種子以去苞後先行穗乾至種子含水量達 18%之延遲脫粒

處理再行粒乾至種子含水量 12%以下最合理之方式 (馮，1983)。

因此，本場延用學者推薦之方式，採靜置乾燥法，種穗入倉後以 40℃定溫熱風乾燥至種子含水量 18%以下，以輸送帶移出種穗進行脫粒，種粒再移入粒倉二次乾燥至種子含水量 11%以下，整體乾燥時間達 5 日之久，於能源不斷上漲之今日，在採用靜置式乾燥倉進行調製之硬體設備無法改變之情況下，建立環境對調製效率之數據提供工作人員參考愈顯重要。為此學者曾提出使用藉由大氣及穀層頂端乾、濕球溫度差整合通風量及溫度之模糊控制系統 (邱及方，1996) 或自製簡易常溫通風乾燥箱 (賴及馮，1989)，以節省成本支出，然前者最高雖可節省 12%之燃油成本，但該系統並未建置完成，需有額外的設備支出；後者則受限於乾燥箱適宜厚度的問題無法大量乾燥且無法與本場工作鏈相銜接，故本研究以了解種穗和脫粒後之玉米粒在各乾燥倉中，倉溫對種穗及種子水分含量的變化與不同大氣環境 (溫度和相對濕度) 下之關係和乾燥時間及耗油量進行比較，並針對種穗乾燥完成之脫粒率、種子發芽率等種子品質因子，供未來操作者於調製過程中，達到節能與品質兼顧之目標。

材料與方法

一、試驗方法

本試驗使用飼料玉米“台南 24 號”母本親，於 101 年和 102 年秋作契作之採種田所採收之種穗為試驗材料，採收前需到契作區逢機採取種穗，帶回實驗室中以種子水分測定儀測定水分含量，待田間種穗之種子水分含量降至 35%以下進行採收並去除苞葉及花絲以貨運於當日運送至本場，經由輸送帶運至種穗乾燥倉中，堆疊穗層厚度控制在 120130 公分，約 18-19 千公斤，入倉後以 40±2℃之熱風促其乾燥，期間每三小時取樣乙次，取樣層為堆疊表面以下 30cm 處隨機取樣種穗 8 根，取樣方式為隨機於倉中取 5 點，並於取樣之種穗上每穗剝取位於中段之種子約 80 粒，將取樣之種子充分混合後再以電子天平精秤 250g 投入種子水分測定儀中測定種子含水量，共測定兩次；待含水量降至 18%以下始可行脫粒作業、計算脫粒率，並送入種粒乾燥倉中堆疊厚度控制在 50 公分–60 公分，並以相同加熱及取樣條件 (每個取樣點之取樣量改為 120–160g 種子) 進行乾燥，待種子含水量降至 11%以下，完成大包裝作業後，依 ISTA 規則取樣及測定其發芽率。

二、試驗材料

(一) 靜置式乾燥倉：

容積 4 公尺*4 公尺* 200 公分，每座可容納 20,000 公斤 種穗及 10,000 公斤種子，使用三相 220V、5HP 之風扇以底部通風之方式提供熱源。

(二) 雙室熱風循環乾燥機 (CHANNEL；40A 220V)：

使用三相 220V、40A；加熱能力 0-200℃。並以溫度控制器調整溫度。

(三) 柴油燃油機

採用 (賡鈦峰；高壓型柴油) 全自動柴油燃燒機，加熱能力 10℃至 200℃，噴油量 (噴油嘴可替換式) 16–25L/1hr。

(四) 溫度感應器

使用溫溼度紀錄器 (HOBO；U14-001) 於乾燥倉周圍隨機放置一點，乾燥倉於頂層中層及底層隨機放置一點量測大氣及乾燥倉內之溫度及相對濕度，並計算其平均值。

(五) 電子式柴油流量計

於全自動柴油燃燒機油管入口前方處安裝電子式柴油流量計 (HICR；VOG P4112L2)，當燃燒機啟動時，儀表板會顯示用油量，每三小時配合種穗及種子含水率測定取樣時記錄油錶數字一次，直至乾燥終了。

(六) 其他儀器:

電子秤 (上新；JWH-20)、水分檢測機 (STEINLITE；SB-900 型)、種子取樣器 (種子檢查室提供)。

結 果

一、外界氣候條件對穗倉中倉溫及相對濕度之影響

種穗乾燥時間長達 75 小時 (圖 1)，遠高於種粒乾燥的 22 小時，種穗乾燥倉的相對濕度，於乾燥初期因表面水分快速蒸發而提高，後即快速降低，且於第 3–9，27–33，51–57 小時 (每日早上九時至下午三時) 具最大降幅，此時亦正是外界溫度及倉溫提高，外界相對濕度降低，顯示乾燥倉環境受外在環境因子之影響甚大，其他時段溫度降低，相對濕度提高並不影響倉內溫度及相對濕度之穩定性，顯示於不適乾燥之環境下，熱風仍能維持穩定的乾燥條件。

二、外界氣候條件對粒倉中倉溫及相對濕度之影響

相對於穗倉，粒倉 (圖 2) 處理時間較短，通常總時間不到一天，受環境影響不明顯，且因種粒初始水分含量已降至 15%左右。粒倉初期相對濕度並無提高的現象，隨著熱風處理時間之延長倉溫漸增相對濕度漸減，至 17.3 小時候因種子水分含量已降至 11.1%故將熱風溫度降至 30±2℃，使種子降溫便於精選等後續作業；於溫度降低時倉中溫度降低且相對濕度有提高的現象。

三、乾燥過程中種穗上種子及種粒水分含量之變化

種穗及種粒於熱風乾燥過程中，種子水分含量隨乾燥時間的增加呈穩定降低的趨勢，且因熱風輸送穩定，不同氣候條件對種子水分含量之影響不顯著，若對照圖一溫濕度變化，於乾燥倉相對濕度大幅降低時，並無造成種子水分含量的快下降，顯示倉中相對濕度的降低或可促進種穗乾燥，但可能會受其他因素所遮敝，而無法於結果中呈現。

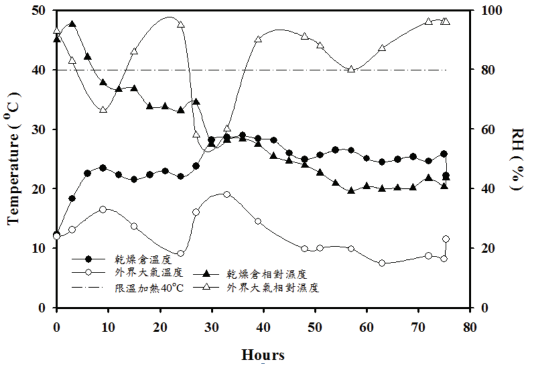

圖 1. 乾燥期間穗倉溫濕度與大氣溫濕度變化曲線

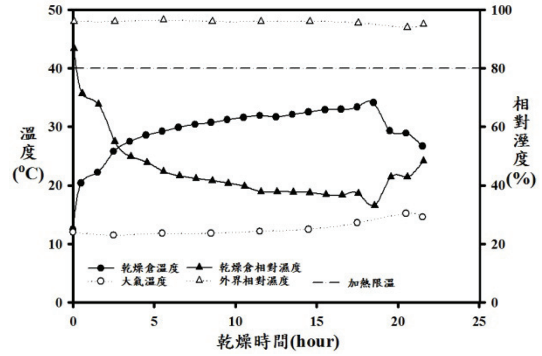

圖 2. 乾燥期間粒倉溫濕度與大氣溫濕度變化曲線

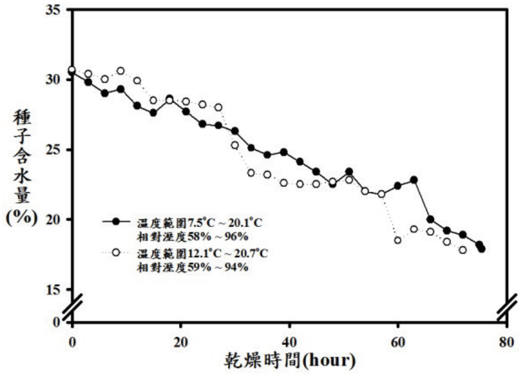

圖 3. 穗倉種子水分變化曲線

四、外界氣候條件與油耗之關係

穗倉外界溫度範圍在 7.5℃–20.1℃，相對濕度 58–96%及粒倉外界溫度範圍在 11.5℃–15.2℃，相對濕度 94–96.5%時，乾燥時間為 75.4 小時及 21.5 小時，高於穗倉外界溫度範圍 12.1℃–20.7℃，相對濕度 59–94%及粒倉外界溫度範圍 15.0℃–20.3℃，相對濕度 67–91.5%的 72 小時及 20.5 小時稍長，顯示外界溫度較低，相對濕度較高時，會延長乾燥時間最終致油耗量的提升。單位時間 (3 小時) 的油耗量在不同溫度及濕度範圍，或粒倉及穗倉之間差異不大，平均介於 45–48L。

討　論

一、外界氣候條件對玉米種子乾燥效能之影響

由大氣溫度及濕度曲線 (圖 1) 來看，本場冬季之日氣候變化甚大，白天溫度約 12.1–20℃，相對濕度約 50–85%，夜晚溫度約 10℃，相對濕度約 70–96%，可說白天溫暖和乾燥，夜晚寒冷潮濕，由於溫度普遍還是低於 20℃，所以加熱幅度大，乾燥能力高。穀物乾燥以空氣為媒介物，利用穀物內的水蒸氣壓差即水分濃度差使穀物內之水分透過蒸發、擴散及毛細管作用而轉移至空氣中，使用熱風乾燥可擴大此水蒸氣壓差，因其不僅加熱穀物使穀物體內部之水蒸氣壓升高，且易加熱空氣以降低穀體外空氣之水蒸氣壓，在者穀體內水分之移動是因為穀體內平衡含水率之適度加熱穀體可擴大，此兩種梯度加快其移動速率 (馮, 1978)。本場種穗進倉後即採直接加熱通風乾燥方式，種穗乾燥倉的相對濕度，於乾燥初期因表面水分快速蒸發而提高，後即快速降低，試驗結果倉相對濕度於第 3–9，27–33，51–57 小時 (每日早上九時至下午三時) 具最大降幅，此時外界溫度升高燃燒機加熱效果提升而使倉溫提高

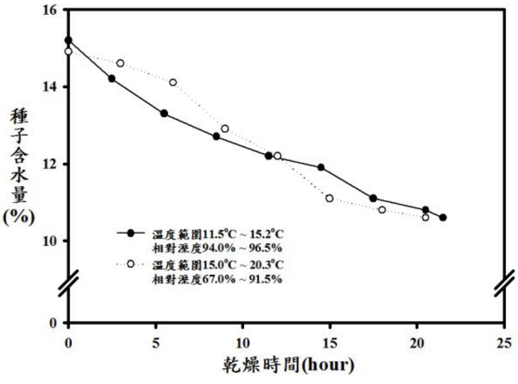

圖 4. 粒倉種子水分變化曲線

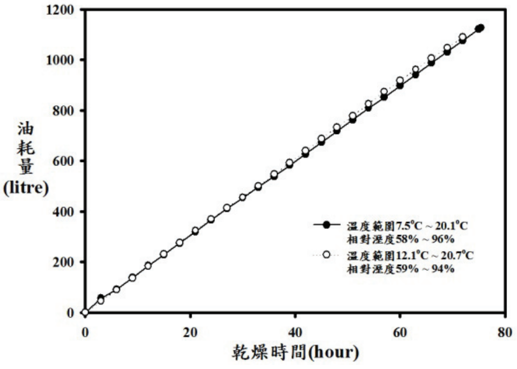

圖 5. 不同大氣環境條件穗倉之油耗量

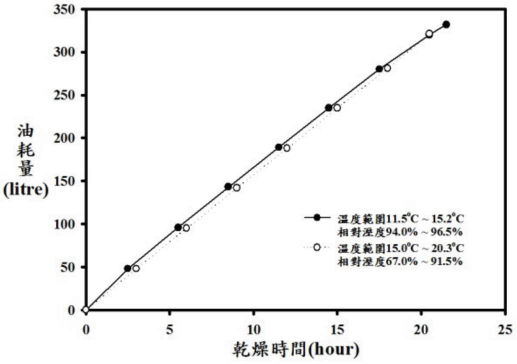

圖 6. 不同大氣環境條件粒倉之油耗量

相對濕度降低，透過通風將種子蒸發之水分透過擴散管作用而轉移至相對濕度低之空氣中增加乾燥速率，此亦為本場採用加熱送風乾燥之原因。玉米種穗乾燥在於去除種子內

部之部分水分，乾燥方法則以蒸發為主。提高乾燥速率不外有三項因素：(1) 提高熱風溫度、(2) 降低空氣濕度、(3) 提高風量，但以上三因素之應用有其界限 (祁文鈺，1977)。加熱送風乾燥是目前普遍使用的方法，一般而言熱風之溫度之極限為玉米之最終用途而定，若為飼料用途溫度可達 80℃ (18OF)，若作種子用則最高不得超過 43.3℃ (11OF)，以防胚芽死亡或熱傷，故不同用途所用溫度自亦不同 (馮氏，1985)。本場玉米穗之乾燥一般可分為常溫強制通風與加熱通風乾燥兩種方式，加熱通風乾燥適合於氣候低溫乾燥季節施行。由乾燥倉熱風溫度曲線得知，乾燥始時乾燥倉溫度僅 17.3℃左右，與乾燥倉內溫度設定值 40℃差距達 21.7℃，此時外界大氣之溫度甚低 (12℃左右)，且相對濕度甚高 (85%左右)，還有此時玉米種穗剛進倉不久其含水率甚高，種穗溫度也低，受到此雙重影響因此熱風溫度無法揚升至 40℃。後段乾燥則多維持在 25–30℃附近，種穗進倉至乾燥終了，倉溫均未能達最高限溫 40℃，顯示乾燥能力明顯不彰。蕭氏等 (1986) 指出含水率 34%的玉米穗分別以 70–80℃的高溫乾燥及 40–50℃的低溫進行乾燥，至含水率為 20–24%後以脫粒機脫粒，此時玉米粒的破碎率分別為 3.6%或 3.2%，以統計分析乾燥溫度 40–80℃對 34%含水率之人工採收玉米穗乾燥至玉米粒含水率 20–24%之間對玉米粒破碎率無顯著之影響。本場玉米之乾燥處裡採低溫 40℃限溫乾燥由倉底層連續加熱送風之方式，為避免底層種子過乾上層未乾情形影響種子發芽期間並無隨著大氣條件隨時調整適當的熱風溫度，而研究結果顯示種穗倉溫之變化在整個乾燥期易受外界氣候條件影響，溫度始終未能達設定之 40℃和影響種子品質的熱風溫度 (40–50℃)，乾燥速率明顯不佳，乾燥期間工作人員應視不同氣候條件，在不影響種子品質為前提，適時利用提高溫度設定來因應外界氣候條件變化，以掌握乾燥之有效性。

二、影響玉米種子水分變化之因子

玉米種子水分之變化在乾燥過程中所牽涉的因素甚多，諸如熱風溫度、玉米之平衡含水率、玉米堆積厚度與風量等是影響玉米乾減率之因素。玉米種穗上之玉米粒由於本身水分分布相當不平均，胚芽與胚乳之間因水分傳遞與擴散速率之不同常有差異例胚芽乾燥至 36%時，胚乳已降至 20%以內，最大原因在於胚芽與穗軸相連水分極難蒸發，故乾燥速率甚為緩慢，而脫粒後之玉米粒因胚芽部分暴露在大氣中水分脫離迅速 (馮氏，1985)。本場玉米種子乾燥採兩階段乾燥之原因係因剛採收之玉米穗其水分常在 35%以上，乾燥初期由於種穗玉米粒體積膨脹的關係，其水分不易逸出，故乾燥速率甚緩，而脫粒後之玉米種粒水分因乾燥時之初始水分已降至 14–15% 之間，種子水分含量隨乾燥時間的增加呈穩定降低。因此採兩階段乾燥作業利於後續調製人力和行程安排。種穗與種粒在不同處裡狀態下之乾燥速率，種穗乾燥所需時間長平均約需 72–75.4 小時遠高於種粒 20.5–21.5 小時，由種穗水分變化曲線可看出調製期間種子水分並非呈穩定遞減現象，在某些期間種子時有回潮和水分提高之情形，此現象與乾燥倉溫及外界氣候條件變動有關，顯示種穗乾燥期間易受外界氣候影響乾燥速率。種粒水分變化於熱風乾燥過程中，種子水分含量隨乾燥時間的增加呈穩定降低的趨勢，乾燥時間平均約在 24 小時內即可完成，較不受氣候條件之影響，工作人員可透過乾燥後期種子水分之測定週期縮短以掌握乾燥時間。此外粒倉種子水分含量降至 11%以下時，因調製作業上安排乃將熱風溫度降至 30±2℃，使種子降溫便於精選等後續

作業，然於溫度降低時倉中溫度有降低且相對濕度有提高的現象，為避免相對濕度提高種子水分上升之情況，掌握精選時間甚為重要。

三、外界氣候條件與油耗關係

本場玉米乾燥採用靜置式厚層柴油燃燒機加熱送風乾燥方式。影響靜置式厚層乾燥之乾燥速率及乾燥品質之因子，包括：1. 外界空氣之溫度及相對濕度。2. 乾燥機之熱風溫度及通風量。3. 穀物之溫度、初始含水率及平衡含水率。4. 穀層厚度。5. 乾燥之通風時間、均化時間等 (方 1985)。其中乾燥機之熱風溫度及通風量為主要影響因素，而以熱風溫度最具決定性 (王 1986)。一般而言空氣溫度每增加 10℃則其吸濕能力將增加一倍，所以熱風溫度愈高乾燥速率愈高，通風量愈大乾燥速率也相對愈高，其中通風量之影響在乾燥初期及熱風溫度高時較為顯著 (Henderson1962)。玉米乾燥作業係一連續過程，種穗進倉後啟動燃燒機，溫度設定限溫 40℃進行乾燥，直到乾燥終了。種穗初始含水率和最終乾燥程度為影響油耗量之主要因子，進場乾燥調製之種穗時有受限於季節條件、氣候條件、品種特性等因素，而無法達到進倉時種穗含水率要求標準，進而影響乾燥所需時間，增加油耗量，因此在進行採種採收作業時應確實掌握種子水分含量以縮短乾燥時間，減少油耗。而不同氣候條件與油耗量之關係，研究資料顯示：乾燥期間每單位時間的油耗量在不同溫度及濕度範圍差異不顯著，油耗量隨著乾燥時間之增加而累積增加，油耗量受最終之乾燥程度影響。此外本場靜置式厚層乾燥方式為由下而上的單向熱風乾燥控制方式，乾燥易不均勻，尤其是熱風入口之底層常有過乾上層未乾現象而需延長乾燥時間，最終致油耗量提升。此底層過乾上層未乾情形或可透過乾燥後期種子水分之測定週期縮短，以掌握及控制乾燥時間。另一影響油耗量之因子為外界溫濕度變化，研究資料顯示外界溫度較低，相對濕度較高時，會延長乾燥時間和提升最終油耗量。據統計乾燥機之燃油成本佔種子乾燥作業成本之 80%以上，因此亟需研發一套可節省能源的自動控制系統，因應外界氣候條件及玉米水分含量變化做適當調整。邱等 (1996) 提出靜置式厚層玉米種子乾燥之模糊控制理論，模糊集合的概念提供一自然 (人性化，擬人化) 的方式來處理來源不精確所產生的問題。模糊控制能配合外界大氣與穀物之濕度狀況來調整其熱風溫度設定值，其乾燥之單位耗油量較少，燃油效率較高。模糊理論在乾燥初期或濕氣重時採高溫乾燥，乾燥中期採中溫乾燥而乾燥後期及天氣乾燥時則採低溫乾燥。本場玉米採種與調製作業因考量氣候因素，均集中在每年 12 月至歷年 3-4 月之間進行，採種採收與調製作業時有受限於季節條件、氣候條件、品種特性以及設備產能因素，而無法達到進倉時種穗含水率要求標準，進而影響乾燥所需時間，增加油耗量。因此亟需建立視不同的乾燥作業環境需求，供現場操作人員判斷及採取最適乾燥操作策略，以達到最佳能源利用效率之目的。

引用文獻

方煒、馮丁樹。1985。 個人電腦應用之一：玉米厚層乾燥對數模式之探討。農業工程學報 31(3):18-26。

方煒、馮丁樹。1985。個人電腦應用之二：NTU-DRY 靜置式厚層玉米粒乾燥系統模擬程式之研究。農業工程學報 31(4):101-110。

方煒、馮丁樹。 1985。 靜置式厚層玉米粒乾燥過程中最適風量率及最佳操作條件之探討。農業工程學報 31(4):71-77。

王燕奮。1968。玉米與高粱種子成熟度與貯藏法對發芽影響之研究。科學農業

16(7-8):238-240。

沈國文。1975。穀物貯藏與乾燥。農業工程學報 21(2):49-61, 2(2):1-4

祁文鈺。1977。乾燥機原理與使用法。豐年 27(16):30

陳國雄。1974。雜交玉米之採種中其發芽力與種子成熟過程有關之生理問題之研究。台灣農業 10(1):15-29。

陳國雄。1972。雜交玉米成熟度與採種之關係。種苗繁殖場試驗報告 1: 58-62。

陳貽倫。1974。稻穀乾燥之研究。科學發展月刊 2(10):23-28

陳貽倫、馮丁樹 1975 稻穀乾燥理論之探討與高溫間歇通風乾燥之研究。農業工程學報 21(2):37-48。

馮丁樹。1986。農會玉米穗收購、脫粒與乾燥設備。 台灣農業機械 1 (4):2-4 王燕奮。1968。玉米與高粱種子成熟度與貯藏法對發芽影響之研究。科學農業 16(7-8):238-240。

馮丁樹、陳貽倫。 1976。台灣省現有大型稻穀乾燥設備之性能試驗與應用分析。農業工程學報 22(2):19-45。

梁繼新、吳德昌。1976。稻穀乾燥擴散係數及平衡含水率之研究。農業工程學報 22(4):31-45。

張新吉、謝桑煙。1962。玉米種子大小對生育及產量之影響。玉米研究中心研究彙報 (11):45-48。

鄔清標、黃光華、蔡定洋。1969。一心號循環式乾燥機稻穀乾燥試驗。農業研究 18(4):33-43。

龍國維、何榮祥、陳清肇。1985。稻穀含水量及乾燥方法對米質影響之研究。稻作改良年報 (73):336-339。

蕭介宗、李世宗 。1986。 乾燥溫度與輸送設備對省玉米破碎率之關係。農業工程學報 32(3):12-34。

謝桑煙。1967。雜交玉米種子之生產。種子與種苗 3(6):1-5。

熊家玲、萬麗玲。1981。不同乾燥處理方式對花卉種子發芽之影響。嘉義專園藝學報(11):52

Aldrich S. R., W. O. Scott and E. R. Leng. 1975. Harvest, Storage, and Marketing Grain Corn. Modern Corn Production. 317-337.

Brass, R.W. Marley, S.J., 1973. Roller Sheller: Low Damage Corn Shelling Cylinder. Trans. ASAE 16: 64-66.

Gomez, F. Andrews, C H., 1971. In-fluence of Mechanical Injury on Seed Corn Quality Agronomy Abs-tracts 43.

Saul, R. A. Steele, J. L., 1966. Why Damaged Shelled Corn Costs More to Dry. Agricural Engineering 47: 326-329.

Picard, G.E. Hopkins, D.F., 1963. Corn Shelling with a Combine Cyli-nder. A.E. 34, 461-464.

Henderson, S.M. 1962. A basic concept of equilibrium moisture. Agric. Eng.33(1):29-32.

Burrough, D. E. Harbage, R.P., 1953. Performance of a Corn Picker She-ller. A.E 34: 21-22.

Duffee. F. W.,1937. Drying seedcorn with electricity Agricultural Engine-erung 18 (4)：149-151.

Environmental Factors on the Performance Impact of Corn Seed Modulation

PO-Chi Liao[1] Chien-Min Hung[2] and Yu-Mei Huang[3]

Taiwan Seed Improvement and Propagation Station, Council of Agriculture

Abstract

This research investigated the temperature and relative humidity of drying bin.seed moisture, shelling rate, germination and fuel consumption during seed processing to provide the most optimum drying condition to shorten the drying duration and promote the energy efficiency and processing quality. The result shows the R. H. of the drying bin raised due to seed surface moisture evaporation and then drop rapidly, the largest decrease range is at 3–9, 27–33 and 51–57(am 9:00 to pm 3:00) hours after processing.

It takes 72 hours and 1,090 L fuel to decrease seed moisture from 30.7% to 17.8% in 12.1–20.7 ℃ and 59–94 % R. H.. To decrease seed moisture from 30.5% to 18.0% takes 75.4 hours and 1,127 L fuel in 7.5–16.5℃ and 58–96% R. H.. The result shows that environment condition significantly affect the drying duration and fuel consumption and the appropriate drying condition and promote the seed processing efficiency.

Key words: Seed process, Corn, Seed storage, Hybrid seed production.